

BEST AVAILABLE COPY

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-177368

(43)Date of publication of application : 27.06.2003

(51)Int.Cl.

G02F 1/025
H01S 5/026

(21)Application number : 2001-376557

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 11.12.2001

(72)Inventor : SEKIGUCHI SHIGEAKI

(54) SEMICONDUCTOR OPTICAL MODULATOR, MACH-ZEHNDER TYPE OPTICAL MODULATOR AND OPTICAL MODULATOR INTEGRATED TYPE SEMICONDUCTOR LASER

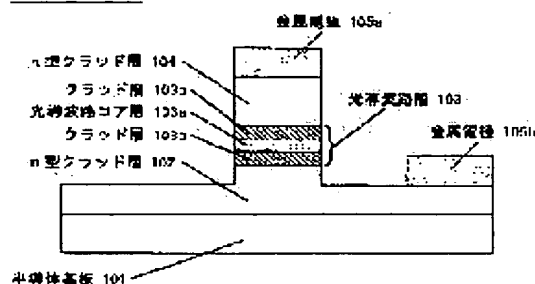
(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a semiconductor optical modulator, a Mach-Zehnder type optical modulator and an optical modulator integrated type semiconductor laser, in which an electric field is effectively applied on an optical waveguide core layer, and the propagation characteristic of a modulated wave is not deteriorated.

SOLUTION: An n-type clad layer 102 is stacked on a semi-insulating semiconductor substrate 101, on which an optical waveguide layer 103 is formed. The optical waveguide layer 103 is composed of clad layers 103b and 103c, and an optical waveguide core layer 103a interposed between the clad layers 103b and 103c. Further, an n-type clad layer 104 is formed on the optical waveguide layer 103. In this way, an n-type semiconductor whose electric conductivity is comparatively high, light absorptivity is comparatively low and impurities are hardly diffused, is used as the clad layers formed on and under the optical waveguide layer 103, further a semi-insulating layer is provided between the n-type clad layers 102 and 104.

本発明の第1の実施例による光位相変調器100を光軸に対して垂直に切取した際の層構造を示す断面図

光位相変調器 100



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 13.09.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3839710

[Date of registration] 11.08.2006

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2003-177368
(P2003-177368A)

(43)公開日 平成15年6月27日(2003.6.27)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームコード [*] (参考)
G 0 2 F 1/025		G 0 2 F 1/025	2 H 0 7 9
H 0 1 S 5/026	6 1 6	H 0 1 S 5/026	6 1 6 5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数5 O L (全 12 頁)

(21)出願番号 特願2001-376557(P2001-376557)

(22)出願日 平成13年12月11日(2001.12.11)

(71)出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号

(72)発明者 関口 茂昭

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(74)代理人 100070150

弁理士 伊東 忠彦

Fターム(参考) 2H079 AA02 AA12 BA01 BA03 CA04
DA16 EA05 EB04 HA12 KA06
KA18
5F073 AA74 AA89 AB21 CA12

(54)【発明の名称】 半導体光変調器、マッハツェンダ型光変調器、及び光変調器一体型半導体レーザ

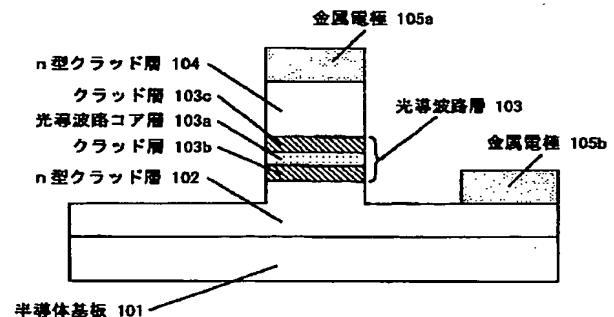
(57)【要約】

【課題】 光導波路コア層に効率的に電界を印加し、尚且つ変調波の伝搬特性を劣化させない半導体光変調器、マッハツェンダ型光変調器、及び光変調器一体型半導体レーザを提供する。

【解決手段】 半絶縁性の半導体基板101上にn型クラッド層102を積層し、この上に光導波路層103を形成する。光導波路層103は、クラッド層103b及び103cと、クラッド層103b及び103cで挟まれた光導波路コア層103aとより成る。また、光導波路層103上にはn型クラッド層104を形成する。このように、光導波路層103の上下に形成するクラッド層として、導電率が比較的高く、光吸収が比較的小さく、不純物が比較的拡散しにくいn型の半導体を用い、更にn型クラッド層102及び104間に半絶縁性の層を設ける。

本発明の第1の実施例による光位相変調器100を光軸に対して垂直に切断した際の層構造を示す断面図

光位相変調器 100



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光導波路層と、該光導波路層に電界を印加する一対の電極とを有し、印加された前記電界に基づいて前記光導波路層中を伝搬する光を変調する半導体光変調器であって、

前記光導波路層が、前記一対の電極の間において、同一である所定の導電性の第1及び第2のクラッド層間に形成されていることを特徴とする半導体光変調器。

【請求項2】 前記所定の導電性は、n型であることを特徴とする請求項1に記載の半導体光変調器。

【請求項3】 前記第1及び第2のクラッド層間に形成された光導波路層は、光導波路コア層を含む1層以上の層より形成され、前記光導波路層の少なくとも何れか1層以上が第1の半絶縁性半導体層であることを特徴とする請求項1又は2に記載の半導体光変調器。

【請求項4】 入射光を第1及び第2の光路に分派する分派器と、

前記第1の光路を構成する第1の光導波路と、

前記第2の光路を構成する第2の光導波路と、

前記第1の光導波路と前記第2の光導波路とを合波する合波器と、

前記第1及び第2の光導波路の少なくとも一方上に形成された請求項1から3のいずれか1項に記載の前記半導体光変調器と、

を有することを特徴とするマッハツェンダ型光変調器。

【請求項5】 同一の半導体基板上に、請求項1から3の何れか1項に記載の前記半導体光変調器と、半導体レーザと、が形成され、

前記半導体光変調器と前記半導体レーザとが、前記光導波路層により光学的に接続されていることを特徴とする光変調器一体型半導体レーザ。

【発明の詳細な説明】**【0001】**

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体光変調器、マッハツェンダ型光変調器、及び光変調器一体型半導体レーザに関する。

【0002】

【従来の技術】従来技術における半導体光変調器、特に光の位相を操作する光位相変調器及びマッハツェンダ型光変調器は、素子の小型化が可能であったり半導体レーザとの集積が可能であったり等の利点を有している。更に、他の光変調器と比較してローコスト化が図れるという利点も有している。

【0003】このような利点を有することから、特に長距離大容量光通信において、短距離から中長距離までをカバーする電気-光変換素子として半導体光変調器は広く研究されている。また、マッハツェンダ型光変調器は伝送距離を制限する波長チャープニングを原理的になくすることが可能なため、40Gbpsを超える高速動作変調器として期待されている。

【0004】しかしながら、半導体光変調器では電極の容量及びリード線のインダクタンスにより素子の動作速度が制限される。このため、高速動作可能な光変調器を作成する場合、進行波型電極を用いることが不可欠である。また、進行波型電極を有する素子においては、伝搬する変調波の損失を極力減らすことが重要となってくる。

【0005】従来では、このような変調波の伝搬損失を減らすために変調波の単位長さあたりの減衰係数を小さくすることや素子長を短くすること等が施されてきた。一般的に、変調波の減衰係数を小さくするためには導電層間の空隙を広くすることが有効であり、また、素子長を短くするためには電界光学効果を持つコア層に効率よく電界をかけること、即ち導電層間を狭めることで単位長さあたりの位相変調量を増すことが有効である。

【0006】以上のことを前提として、以下に、従来技術による光位相変調器の層構造を2種類例示する。但し、以下の説明において‘i-’は絶縁性であることを意味し、‘p-’はp型の導電性であることを意味し、‘n-’はn型の導電性であることを意味するものとする。

【0007】図1(a)は、従来技術において各層がドーピングされていない(ノンドープ型)の光位相変調器の一例を光軸に対して垂直に切断した場合の層構造を示す断面図である。この層構造を持つ光位相変調器1100を以下の説明において従来技術1という。

【0008】図1(a)を参照すると、光位相変調器1100は、絶縁性の基板(InP基板)1101上に、ノンドープ、即ち導電性でないクラッド層(i-InPクラッド層1102、1104)で挟まれたi-光導波路コア層1103が形成されている。また、このように形成された素子の上面及び下面には、それぞれ金属電極(シグナル)1105a、金属電極(グランド)1105bが形成されている。

【0009】この構成において、金属電極1105aと1105bとの間の領域、即ち、光位相変調器を構成するi-InP基板1101、i-InPクラッド層1102、i-光導波路コア層1103、i-InPクラッド層1104の何れの層もドーピングが施されていないため導電性を持たない。これにより、金属電極1105a、1105bを介して光位相変調器へ電界を加える場合、変調波の伝搬特性、特に変調波の単位長さあたりの損失量を小さく抑えることができる。

【0010】このように従来技術1による光位相変調器1100は、位相変調器を形成するいずれの層もドーピングが施されておらず、導電性を持たない。そのため、変調波の伝搬特性、特に変調波の単位長さあたりの損失への影響が小さいという利点がある。

【0011】また、図1(b)は、従来技術において導波路がpin型素子として構成された光位相変調器の一

例を光軸に対して垂直に切断した場合の層構造を示す断面図である。この層構造を持つ光位相変調器1200を以下の説明において従来技術2という。

【0012】図1(b)を参照すると、光位相変調器1200は、 n 型の導電性を有するInP基板(n -InP基板)1201上に、 n 型の導電性を持つクラッド層(n -InPクラッド層)1202と p 型の導電性を持つクラッド層(p -InPクラッド層)1204とで挟まれた絶縁性の光導波路コア層(i -光導波路コア層)1203が形成されている。また、このように形成された素子において、 p -InPクラッド層1204の上部には金属電極(シグナル)1205aが、 n -InP基板1201上には金属電極(グランド)1205bがそれぞれ形成されている。

【0013】このように、ノンドープの光導波路コア層1203を n 型及び p 型のクラッド層で挟み込むことで構成されたpin型ダイオード構造を有する素子は、逆バイアスを印加することで i -光導波路コア層1203に効率的に電界を印加することができる。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来技術1では、電界を i -光導波路コア層1103に効率的に印加することができないため、印加した電圧に対して屈折率変化が小さいという問題が存在する。また、この問題を解決するためには、所望の位相変化を得るために素子長を長くする、若しくは高い電圧をかけることが必要となるが、素子長を長くすることは素子の小型化という半導体素子の利点に反し、更に変調波の損失を大きくするという問題にもつながる。また、高い電圧をかけることは、素子の消費電力を高くし、更に素子の駆動回路の形成が困難となるという問題にもつながる。

【0015】また、従来技術2では、 i -光導波路コア層1203上部のクラッド層に p 型半導体を用いることで、光、変調波に対する損失が大きくなるという問題を有する。

【0016】また、このクラッド層にドーピングした p 型の不純物は他の領域に拡散しやすい。このため、 p 型の不純物が i -光導波路コア層1203に拡散することにより、 p 型不純物イオンやキャリアが i -光導波路コア層1203中に進入してしまうという問題が存在する。これは、 i -光導波路コア層1203中に p 型不純物イオンやキャリアが、 i -光導波路コア層1203を伝搬する変調波の伝搬特性に悪影響を及ぼし、 i -光導波路コア層1203に効率的な電界が印加できなくなるためである。

【0017】また、上記のような問題を解決ために、ノンドープである絶縁性の層を i -光導波路コア層1203と p -InPクラッド層1204との間に設けるよう構成し、これにより不純物拡散を軽減する方法が存在するか、このように構成した場合では、 i -光導波路コア

層1203へ効率的に電界を印加することが困難となる問題を有する。

【0018】また、pin型ダイオード構造を有する素子では、必ず逆バイアスするように電界を印加しなければならない、素子の駆動電圧が制限される。

【0019】従って、本発明は上記問題に鑑みてなされたものであり、光導波路コア層に効率的に電界を印加し、尚且つ変調波の伝搬特性を劣化させない半導体光変調器、マッハツェンダ型光変調器、及び光変調器一体型半導体レーザを提供することを目的とする。

【0020】

【課題を解決するための手段】係る目的を達成するために、請求項1記載の発明は、光導波路層と、該光導波路層に電界を印加する一対の電極とを有し、印加された前記電界に基づいて前記光導波路層中を伝搬する光を変調する半導体光変調器であって、前記光導波路層が、前記一対の電極の間において、同一である所定の導電性の第1及び第2のクラッド層間に形成されていることを特徴としている。

【0021】これにより、請求項1記載の発明では、光導波路層に効率的に電界を印加し、任意の電界を印加することができる半導体光変調器を提供することが可能となる。

【0022】更に、請求項2記載の発明は、前記所定の導電性が、 n 型であることを特徴としている。

【0023】これにより、請求項2記載の発明では、光導波路層の上下に形成するクラッド層にドーピングする不純物として、比較的拡散しにくい n 型の不純物を用いることにより、光導波路層に不純物が拡散し、変調波の伝搬損失が生じることを防止することが可能となる。また、 n 型半導体は p 型半導体と比べ、導電率が高く、光吸収が小さいため、光及び変調波の損失の低減が可能となる。

【0024】更に、請求項3記載の発明は、前記第1及び第2のクラッド層間に形成された光導波路層が、光導波路コア層を含む1層以上の層より形成され、前記光導波路層の少なくとも何れか1層以上が第1の半絶縁性半導体層であることを特徴としている。

【0025】これにより、請求項3記載の発明では、光導波路層を挟むクラッド層間を電氣的に切断して、効率よく発生した電界を光導波路層へ印加することが可能となる。

【0026】また、請求項4記載の発明は、入射光を第1及び第2の光路に分派する分派器と、前記第1の光路を構成する第1の光導波路と、前記第2の光路を構成する第2の光導波路と、前記第1の光導波路と前記第2の光導波路とを合波する合波器と、前記第1及び第2の光導波路の少なくとも一方上に形成された請求項1から3のいずれか1項に記載の前記半導体光変調器と、を有することを特徴としている。

【0027】これにより、請求項4記載の発明では、光導波路層に効率的に電界を印加し、尚且つ変調波の伝搬特性を劣化させない半導体光変調器が適用されたマッハツェンダ型光変調器を提供することが可能となる。

【0028】また、請求項5記載の発明は、同一の半導体基板上に、請求項1から3の何れか1項に記載の前記半導体光変調器と、半導体レーザと、が形成され、前記半導体光編著器と前記半導体レーザとが、前記光導波路層により光学的に接続されていることを特徴としている。

【0029】これにより、請求項5記載の発明では、光導波路層に効率的に電界を印加し、尚且つ変調波の伝搬特性を劣化させない半導体光変調器が同一基板上にモノリシックに形成された半導体レーザを提供することが可能となる。

【0030】

【発明の実施の形態】〔原理〕本発明を説明するにあたり、本発明の原理を先に述べる。

【0031】本発明は、光導波路層を挟むように形成されるクラッド層の材料としてn型の不純物が拡散された半導体を用いる。また、本発明は、両クラッド層間に半絶縁性半導体層を設けることで、両クラッド層が電氣的に接続されることを防止する。

【0032】本発明では、上記のように構成することで、本発明では変調波の損失に与える影響を低減し、尚且つ光導波路層におけるコア層に効率的に電界を印加することが可能となり、小型で、且つ高速、低電圧動作が可能である半導体光位相変調器、マッハツェンダ型光変調器、及び光変調器一体型半導体レーザを提供することが可能となる。

【0033】以下、本発明を好適に実施した形態について図面を用いて詳細に説明する。

〔第1の実施例〕まず、本発明の第1の実施例について、図面を用いて詳細に説明する。

【0034】図2は本実施例による光位相変調器100を、光軸方向に対して垂直に切断した際の層構造を示す断面図である。

【0035】図2を参照すると、光位相変調器100は、半絶縁性の半導体基板101上に、n型の不純物が拡散されたクラッド層（n型クラッド層102）が積層されている。また、n型クラッド層102上には、光導波路層103が形成される。

【0036】光導波路層103は、クラッド層103b及び103cと、クラッド層103b及び103cで挟まれた光導波路コア層103aとより構成される。また、光導波路層103上には、n型の不純物が拡散されたクラッド層（n型クラッド層104）が形成される。

【0037】ここで、光導波路層103は電界光学効果を有するものである。また、光導波路層103を構成する光導波路コア層103aは半絶縁性となるようドーピ

ングされた半導体材料又は、ノンドープの半導体材料により形成される。ここで、本実施例では光導波路コア層103aの膜厚を少なくとも0.2 μ m以上0.8 μ m以下とする。また、光導波路コア層103aの上部又は下部に形成されるクラッド層103b又は103cは半絶縁性となるようドーピングされた半導体材料又は、ノンドープの半導体材料により形成される。

【0038】但し、光導波路コア層103aをノンドープの半導体材料により形成した場合、クラッド層103b、103cの少なくとも何れか一方を半絶縁性の半導体材料で形成するか、若しくは、n型クラッド層102及び104間の何れかに半絶縁性の半導体材料による層を形成する。また、光導波路コア層103aを半絶縁性の半導体材料により形成した場合、クラッド層103b、103cを半絶縁性の半導体材料を用いて形成してもノンドープの半導体材料で形成してもよく、更には形成しなくてもよい。本実施例では、このようにn型クラッド層102及び104間に半絶縁性の層を設けることで、n型クラッド層102及び104間を電氣的に切り離す。

【0039】また、本実施例において、n型クラッド層104上には金属電極105aが形成され、また、n型クラッド層102上には光導波路層103と同じ側に金属電極105bが形成される。

【0040】この構成において、2つの金属電極105a、105bに電圧を印加すると、光導波路層103の上面及び下面間に電位差が生じ、電界が発生する。この電界は、光導波路層103に集中する。従って、電界光学効果により光導波路コア層103aの屈折率が変化する。

【0041】このように、本実施例では、光導波路層103の上部又は下部に形成されるn型クラッド層102、104がn型の導電性を有する半導体材料で形成され、また、n型クラッド層102、104間には1層以上の半絶縁性半導体層が形成される。これにより、光導波路コア層103aに不純物が拡散することなく、且つ効率的に光導波路コア層103aに電界を印加するよう構成することが可能となる。

【0042】上記構成において、半絶縁性の半導体基板101としては、不純物として鉄がドーピングされたInP基板を用いる。

【0043】また、光導波路コア層103aには、例えばバンドギャップ波長が1.5 μ mで膜厚が4~12nmのGaInAsP四次混晶と膜厚が5~20nmのInPとを交互に積み重ねた量子井戸構造を有するMQWを用いる。但し、これをAlGaInAsとAlInAsとを用いた量子井戸構造を有するMQWにより形成してもよい。

【0044】また、n型クラッド層102、104には、例えばn型の不純物がドーピングされたInPを用

いる。ここで、 n 型の不純物としては、例えば $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の珪素を用いる。但し、これに硫黄やセレンを適用してもよい。

【0045】また、 n 型クラッド層102、104間に形成する半絶縁層（クラッド層103b、103c、若しくは図示しない層）には、例えば鉄がドーピングされた半導体（例えば InP ）を用いる。但し、この半導体としては、膜厚が少なくとも $0.2 \mu\text{m}$ 以上であり、ドーピングされた鉄の濃度が少なくとも $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上であるものを用いる。

【0046】また、クラッド層103b、103cの膜厚は $1 \sim 3 \mu\text{m}$ 程度とする。更に、金属電極105a、105bは、金メッキによる厚みを含んだ膜厚が $5 \sim 30 \mu\text{m}$ とする。

【0047】上記のように構成された光位相変調器の金属電極105a、105b間に電位差を与えた場合、 n 型クラッド層102、104に大量の伝導電子が存在し、この電子が電界を打ち消すように働くため、 n 型クラッド層102、104内には電界が発生しない。

【0048】また、 n 型クラッド層102、104間に設けた半絶縁層（不純物として鉄がドーピングされた半導体層とする）内部では、ドーピングされた鉄が半導体層中で深いアクセプタとして機能し、近傍に存在する電子を捕獲してイオン化するため、自由電子が存在しない。このため、この半絶縁層中では電流が流れることが阻止され、層全体が略絶縁体として機能する。

【0049】従って、クラッド層103b、103c双方に鉄がドーピングされているとすると、図1における層構造では、光導波路コア層103aとクラッド層103b、103cとの合計が絶縁層として機能する。

【0050】また通常、珪素等の n 型の不純物は亜鉛等の p 型不純物と比較すると拡散しにくい。このため、本実施例による層構造では、設計時に意図したドーピングプロファイルが略所望する通り実現される。従って、本実施例では、絶縁層の膜厚が光導波路コア層103aとクラッド層103b、103cとの合計の厚さに正確に等しく、また、この絶縁層が p 型不純物イオンやキャリアによる影響を受けないため、光導波路コア層103aに対して効率的に電界を印加することが可能となる。

【0051】また、本実施例では、 n 型不純物が拡散された半導体に比べ、光吸収が大きく、導電率の小さい p 型の不純物が拡散された半導体を使用していないため、金属電極105aを伝搬する変調波信号の伝搬損失及び、光導波路を伝搬する光の伝搬損失を低減することができる。

【0052】これに対し、例えば従来の pin 型ダイオード構造では、 p 型の不純物が拡散された層を用いているため、この p 型の不純物が光導波路コア層103aへ拡散し、光導波路コア層103aに内部までキャリアが存在してしまい、光導波路コア層103aが絶縁層とな

らない。このため、金属電極105aを伝搬する変調波信号の伝搬損失が増大する。

【0053】例えば 40 GHz の変調波に関しては、 p 型の不純物が拡散していない状態に比べ、 p 型の不純物が拡散し、その濃度が $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 程度になった光導波路コア層103aでは、変調波の損失が、拡散していないものに比べて4倍程度に増大する。

【0054】また、光導波路コア層103aに p 型の不純物が拡散されると、光導波路コア層103aに残留する正孔の存在のためにキャリア効果が生じ、変調速度が制限されるという不具合が発生する可能性がある。

【0055】更にまた、不純物拡散を制御するために、光導波路コア層103aと p 型の不純物が拡散されたクラッド層との間にノンドープの InP 層を例えば $0.5 \mu\text{m}$ の膜厚で設けた場合、光導波路コア層103aへの p 型の不純物の拡散は減少させることが可能であるが、ノンドープの InP 層への拡散は存在するため、変調波の損失は増加する。更にこのように構成した場合、抵抗率の大きい p 型半導体層が設けられているため、本実施例のような、膜厚 $0.5 \mu\text{m}$ の光導波路コア層103aと例えば膜厚 $0.5 \mu\text{m}$ の半絶縁性のクラッド層とを n 型クラッド層102、104で挟んだ構成を有する光位相変調器と比較して、変調波の損失は2割以上大きい。

【0056】光の損失については、例えば、従来の pin 型ダイオード構造では、 p 型半導体での光吸収により本実施例の構造より光損失は2倍程度大きい。

【0057】また、本実施例の層構造を有する光位相変調器100では、例えば金属電極105a、105b間に 5 V の電位差を与えた場合、光導波路コア層103aに約 $5 \times 10^4 \text{ V/cm}$ 以上の電界が印加されるが、上記従来の pin 型ダイオード構造を有する光位相変調器では、 p 型の不純物が拡散していないと仮定しても、同等かそれ以下の電界しか印加することができない。

【0058】このように本実施例による光位相変調器100は、従来のものと比較して、光損失や印加させる電界の効率の面でも非常に大きなメリットを有している。

【0059】次に、図3を用いて本実施例による光位相変調器100の具体的構成例を説明する。ここで、図3(a)は光位相変調器100を集中定数型で構成した場合の集中定数型光位相変調器200の俯瞰図であり、図3(b)は光位相変調器100を分布定数型（進行波型）で構成した場合の分布定数型光位相変調器300の俯瞰図である。

【0060】図3(a)に示す集中定数型光位相変調器200において、金属電極105aにはバイアス電源3のマイナス（-）側が接続され、金属電極105bにはバイアス電源3のプラス（+）側が接続される。また、容量6を介して信号電源4が金属電極105a、105bに接続される。ここで、電界光学効果により光導波路コア層103aの屈折率が変化すると、これを伝搬する

光の速度が変化する。従って、光導波路コア層103aに入力された光1は、光位相変調器200を通過することにより位相が変調される。但し、変調させる位相値は、光導波路コア層103aを形成する半導体材料に対応して、印加する電圧値を設定することにより制御することができる。

【0061】また、図3(b)に示す分布定数型光位相変調器300において、金属電極105aにバイアス電源3のマイナス側が、金属電極105bにバイアス電源3のプラス側が接続され、金属電極105a及び105bにそれぞれ信号電源4が容量6を介して接続される。また、信号電源4から出力された変調波信号2は金属電極105aを伝搬し、並列して伝搬する光1を変調する。従って、光導波路コア層103aに入力された光1は、光位相変調器300を通過することにより位相が変調される。但し、変調させる位相値は、光導波路コア層103aを形成する半導体材料に対応して、入力する変調波信号2の電圧値を設定することにより制御することができる。

〔第2の実施例〕次に、本発明の第2の実施例について以下に図面を用いて詳細に説明する。

【0062】本実施例は、第1の実施例で例示した位相変調器100をマッハツェンダ型光変調器10に適用したものである。図4に本実施例によるマッハツェンダ型光変調器の俯瞰図を示す。

【0063】図4を参照すると、マッハツェンダ型光変調器10は、半導体基板11上に、入力された光20を2分派する分派器14と、2分派された光の位相を印加された電圧に基づいてそれぞれ変調する光位相変調器12、13と、光位相変調器12、13によりそれぞれ変調された光を合波する合波器15と、を有して構成される。また、分派器14と光位相変調器12と合波器15とは導波路18により光学的に接続され、分派器14と光位相変調器13と合波器15とは導波路19により光学的に接続されている。

【0064】本実施例において、半導体基板11には、例えば鉄が不純物としてドーピングされたInP基板を用いる。また、分派器14、合波器15には、例えばマルチモード干渉結合器(MMIカプラ)を用いる。

【0065】この構成において光20は、分派器14により均等の強度及び波長を有する光21a、21bに分派され、導波路18、19にそれぞれ出力される。その後、導波路18に入力された光21aは光位相変調器12により変調され、また、導波路19に入力された光21bは光位相変調器13により変調される。

【0066】ここで、光位相変調器12、13には、第1の実施例による光位相変調器100が適用される。また、光位相変調器12、13は、それぞれ同じ電圧でバイアスされており、どちらか一方のみ、又は双方の金属電極(105a、105b間)に信号電圧が印加され

る。但し、双方の金属電極(105a、105b間)に信号電圧を印加する場合、それぞれに印加する信号電圧は、位相が揃って且つ反対向きであるものとする。

【0067】このように信号電圧を印加すると、それぞれの光位相変調器12、13に入力された光21a、21bは異なる位相変調を受け、その後、合波器15により合波される。

【0068】このとき、合波器15で合波される光21a、21bの位相差が $2n\pi$ (n は整数)である場合、合波器15における干渉の結果、出力導波路17から光20aと同等の強度(多少の減衰は含まれるが従来と比較して十分な程度の強度が保たれている)である光20bが出力される。これに対して、光21a、21bの位相差が $2(n+1)\pi$ である場合、干渉の結果、打ち消し合い、出力導波路17には光20bが出力されない。

【0069】従って、マッハツェンダ型光変調器10では、光位相変調器12、13に印加した電圧によって、出力される光20bの強度が変調される。そこで、第1の実施例による光位相変調器100を適用することにより、変調波の伝搬損失が低減され、且つ、光導波路コア層103aへの効率的な電界の印加が可能となり、伝送速度の向上が可能となる。

〔第3の実施例〕次に、第1の実施例で例示した光位相変調器100の凸部(又はメサともいう)の両側に半絶縁性の半導体壁を設けた層構造を有する光位相変調器110を第3の実施例として説明する。

【0070】図5は、本実施例による光位相変調器110を光軸に対して垂直に切断した際の層構造を示す断面図である。

【0071】図5を参照すると、本実施例による光位相変調器110は、第1の実施例で図2を用いて説明した構造において、 n 型クラッド層102の上部と光導波路層103と n 型クラッド層104とより成る凸部の両側に半絶縁性の半導体層(半絶縁性半導体層116a、116b)が形成された構成となっており、金属電極115aは、この半絶縁性半導体層116a、116bに架橋する形で、 n 型クラッド層104に接するように形成されている。

【0072】本実施例では、このようにメサ形状となる共振器部分を半絶縁性の半導体で側面より挟み込むことにより、より効率よく電界を光導波路コア層103aに存在させることが可能となる。

【0073】また、半絶縁性半導体層116a、116bは、例えば鉄がドーピングされた半導体(例えばInP)を用いて形成する。但し、この半絶縁性の半導体としては、横方向の膜厚が少なくとも $0.2\mu\text{m}$ 以上であり、ドーピングされた鉄の濃度が少なくとも $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 以上であるものを用いる。

〔第4の実施例〕次に、本実施例において、第1の実施例で例示した光位相変調器100と、半導体レーザと、

を同一の基板上にモノリシックに形成した場合のレーザー一体型光位相変調器120を例に挙げて説明する。

【0074】図6は、本実施例によるレーザー一体型光位相変調器120を光軸と平行に半導体基板101に対して垂直に切断した際の層構造を示す断面図である。

【0075】図6を参照すると、レーザー一体型光位相変調器120は、半導体レーザが形成された領域（半導体レーザ領域100B）と光位相変調器100が形成された領域（光位相変調領域100A）とを有して構成されている。

【0076】また、本実施例では、半導体レーザ領域100Bと光位相変調領域100Aとの間に、これらを電氣的に切断するためのアイソレーション領域100Cを設ける。これらの層構造は、半導体基板101とn型クラッド層102とが光位相変調領域100Aから、アイソレーション領域100C、半導体レーザ領域100Bまで、それぞれ同一層として形成されている。

【0077】半導体レーザ領域100Bに着目すると、n型クラッド層102上に、クラッド層123bがクラッド層103bの上面と同一面になるように、また、活性層123aが光導波路コア層103aと光結合できるように形成され、その後p型クラッド層104aがn型クラッド層104の上面と同一面になるまで積層された後、金属電極125aが形成される。

【0078】また、アイソレーション領域100Cに注目すると、n型クラッド層102上のクラッド層103b及び光導波路コア層103aが光位相変調領域100Aとアイソレーション領域100Cとで同一層として形成されており、その上にn型クラッド層104の上面と同一面となるまで半絶縁性の半導体層（半絶縁性半導体層126）が積層されている。但し、この半絶縁性の半導体としては、鉄が少なくとも $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上の濃度でドーピングされたものを用いる。

【0079】但し、本実施例では、図6のように、光導波路コア層103aの例えば上面に半絶縁性半導体層を設ける構成でなく、光導波路コア層103aの下部や、その両方に、半絶縁性半導体層や誘電体層や空気又は真空等の層、又はこれらのうち何れか2つ以上より成る層を設けることで、半導体レーザ100Bと光位相変調領域100Aとを電氣的に分離するよう構成してもよい。

【0080】これにより、本実施例では、半導体レーザや光位相変調器100に電気信号を入力した際に、各々における相互作用が改善されたレーザー一体型光位相変調器120を実現することができる。

【0081】また、本実施例による半導体レーザの層構造としては、図2に示す光位相変調器100の層構造において、光導波路コア層103aを活性層123aとしたものとなっている。この活性層123aとしては、光導波路コア層103aと同一の材料で形成しても、異なる材料で形成してもよい。但し、異なる材料を用いて形

成した場合、光の反射が生じないように、電気信号を入力した際の双方の屈折率が同等となるように構成するとよい。

【0082】また、本実施例では、図6のように、光位相変調領域100A（光位相変調器）を設けているが、この部分にマッハツェンダ形光変調器を設けて、光の変調を行うようにしてもよい。

〔他の実施例〕また、上記した各実施例は、本発明を好適に実施した形態の一例に過ぎず、本発明は、その主旨を逸脱しない限り、種々変形して実施することが可能なものである。

（付記1）光導波路層と、該光導波路層に電界を印加する一対の電極とを有し、印加された前記電界に基づいて前記光導波路層中を伝搬する光を変調する半導体光変調器であって、前記光導波路層が、前記一対の電極の間において、同一である所定の導電性の第1及び第2のクラッド層間に形成されていることを特徴とする半導体光変調器。

（付記2）半絶縁性半導体基板上に形成された第1のクラッド層と、該第1のクラッド層上に形成された光導波路層と、該光導波路層上に形成された第2のクラッド層と、前記第2のクラッド層上に形成された第1の電極と、前記第1のクラッド層上に形成された第2の電極と、を有し、前記第1及び第2のクラッド層は、同一の所定の導電性を有することを特徴とする半導体光変調器。

（付記3）前記所定の導電性は、n型であることを特徴とする付記1又は2に記載の半導体光変調器。

（付記4）前記第1及び第2のクラッド層間に形成された光導波路層は、光導波路コア層を含む1層以上の層より形成され、前記光導波路層の少なくとも何れか1層以上が第1の半絶縁性半導体層であることを特徴とする付記1から3の何れか1項に記載の半導体光変調器。

（付記5）前記光導波路コア層は、ノンドープ層であり、前記第1の半絶縁性半導体層は、前記光導波路コア層の上部及び下部の少なくとも一方に形成されていることを特徴とする付記4に記載の半導体光変調器。

（付記6）前記光導波路コア層は、量子井戸構造を有することを特徴とする付記4又は5に記載の半導体光変調器。

（付記7）前記光導波路層の両側面に、各々第2又は第3の半絶縁性半導体層を有することを特徴とする付記1から5の何れか1項に記載の半導体光変調器。

（付記8）前記第1及び第2の電極は、進行波型電極であることを特徴とする付記2に記載の半導体光変調器。

（付記9）入射光を第1及び第2の光路に分派する分派器と、前記第1の光路を構成する第1の光導波路と、前記第2の光路を構成する第2の光導波路と、前記第1の光導波路と前記第2の光導波路とを合波する合波器と、

前記第 1 及び第 2 の光導波路の少なくとも一方上に形成された請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の前記半導体光変調器と、を有することを特徴とするマッハツェンダ型光変調器。

（付記 10）前記半導体光変調器は、同一の半導体基板上に形成されていることを特徴とする付記 9 記載のマッハツェンダ型光変調器。

（付記 11）同一の半導体基板上に、請求項 1 から 7 の何れか 1 項に記載の前記半導体光変調器と、半導体レーザと、が形成され、前記半導体光変調器と前記半導体レーザとが、前記光導波路層により光学的に接続されていることを特徴とする光変調器一体型半導体レーザ。

（付記 12）前記半導体光変調器と前記半導体レーザとの間に、該半導体光変調器と該半導体レーザとを電気的に切断するアイソレーション領域を有することを特徴とする付記 11 に記載の光変調器一体型半導体レーザ。

（付記 13）前記アイソレーション領域は、前記半導体光変調器と前記半導体レーザとを光学的に接続する前記光導波路層の上部及び下部の少なくとも何れか一方に、第 3 の半絶縁性半導体層が形成されていることを特徴とする付記 12 に記載の光変調器一体型半導体レーザ。

【0083】

【発明の効果】以上、説明したように、請求項 1 記載の発明によれば、光導波路層に効率的に電界を印加し、尚且つ印加する電界の方向が任意の半導体光変調器を提供することが可能となる。

【0084】更に、請求項 2 記載の発明によれば、光導波路層の上下に形成するクラッド層として導電率が比較的高く、光吸収が比較的小さく、不純物が比較的拡散しにくい n 型の半導体を用いることにより、変調波の伝搬特性を劣化させず、尚且つ光導波路層に不純物が拡散し、変調波の伝搬損失が生じることを防止することが可能となる。

【0085】更に、請求項 3 記載の発明によれば、光導波路層を挟むクラッド層間を電気的に切断して、効率よく発生した電界を光導波路層へ印加することが可能となる。

【0086】また、請求項 4 記載の発明によれば、光導波路層に効率的に電界を印加し、尚且つ変調波の伝搬特性を劣化させない半導体光変調器が適用されたマッハツェンダ型光変調器を提供することが可能となる。

【0087】また、請求項 5 記載の発明によれば、光導波路層に効率的に電界を印加し、尚且つ変調波の伝搬特性を劣化させない半導体光変調器が同一基板上にモノリシックに形成された半導体レーザを提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】従来技術による光変調器の層構造を示す図であり、（a）はノンドーピング型素子として形成された光変調器 1100 の層構造を示し、（b）は p-i-n 型素子

として形成された光変調器 1200 の層構造を示す。

【図 2】本発明の第 1 の実施例による光位相変調器 100 を光軸に対して垂直に切断した際の層構造を示す断面図である。

【図 3】本発明の第 1 の実施例による光位相変調器 100 の具体的構成例を示す俯瞰図であり、（a）は光位相変調器 100 を用いて構成された集中定数型光位相変調器 200 を示し、（b）は光位相変調器 100 を用いて構成された分布定数型（進行波型）光位相変調器 300 を示す。

【図 4】本発明の第 1 の実施例による光位相変調器 100 を用いて構成されたマッハツェンダ型光変調器 10 の構成を示す俯瞰図である。

【図 5】本発明の第 3 の実施例による光位相変調器 110 を光軸に対して垂直に切断した際の層構造を示す断面図である。

【図 6】本発明の第 4 の実施例によるレーザ一体型光変調器 120 を光軸に沿って半導体基板 101 と垂直に切断した際の層構造を示す断面図である。

【符号の説明】

- 1 光
- 2 変調波信号
- 3 バイアス電源
- 4 信号電源
- 5 抵抗
- 10 マッハツェンダ型光変調器
- 11、101 半導体基板
- 12、13、100、110 光位相変調器
- 14 分派器
- 15 合波器
- 16 入力導波路
- 17 出力導波路
- 18、19 導波路
- 20a、20b、21a、21b 光
- 100A 光位相変調領域
- 100B 半導体レーザ領域
- 100 アイソレーション領域
- 102、104 n 型クラッド層
- 103 光導波路層
- 103a 光導波路コア層
- 103b、103c、123b クラッド層
- 104a p 型クラッド層
- 105a、105b、125a 金属電極
- 116a、116b 半絶縁性半導体層
- 120 レーザ一体型光位相変調器
- 123a 活性層
- 126 半絶縁性半導体層
- 1100 光変調器（ノンドーピング型素子）
- 1101、1201 i-InP 基板
- 1102、1104 i-InP クラッド層

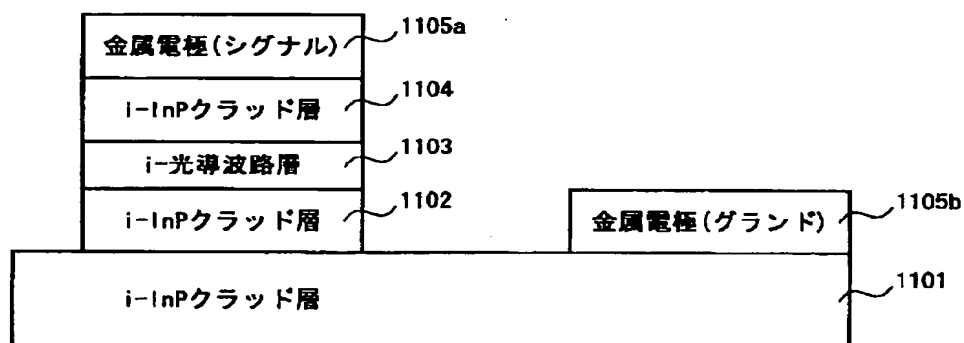
- | | | | |
|-------------|-------------|------|---------------|
| 1103、1203 | i-光導波路層 | 1200 | 光変調器 (pin型素子) |
| 1105a、1205a | 金属電極 (シグナル) | 1202 | n-InPクラッド層 |
| 1105b、1205b | 金属電極 (グランド) | 1204 | p-InPクラッド層 |

【図1】

従来技術による光変調器の層構造を示す図であり、(a)はノンドーピング型素子として形成された光変調器1100の層構造を示し、(b)はpin型素子として形成された光変調器1200の層構造を示す図

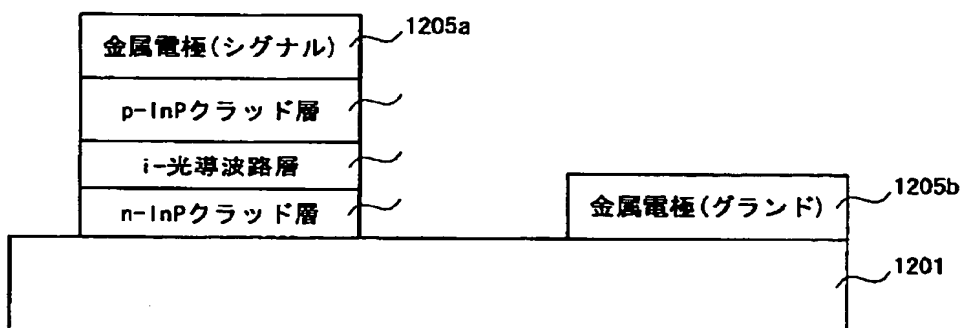
(a)

光変調器(ノンドーピング型素子) 1100



(b)

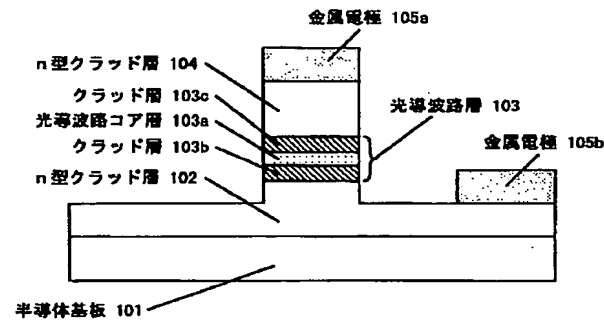
光変調器(pin型素子) 1200



【図 2】

本発明の第 1 の実施例による光位相変調器 100 を
光軸に対して垂直に切断した際の層構造を示す断面図

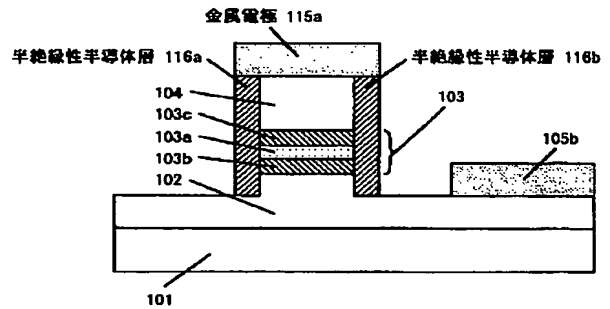
光位相変調器 100



【図 5】

本発明の第 3 の実施例による光位相変調器 110 を光軸に
対して垂直に切断した際の層構造を示す断面図

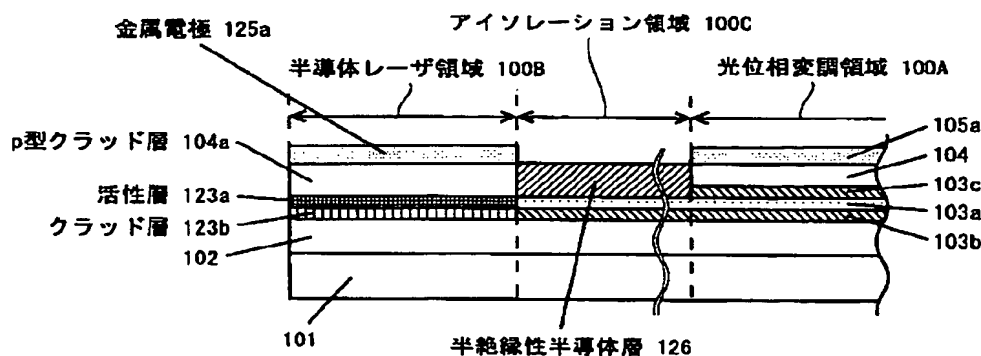
光位相変調器 110



【図 6】

本発明の第 4 の実施例によるレーザー一体型光変調器 120 を
光軸に沿って半導体基板 101 と垂直に切断した際の層構造
を示す断面図

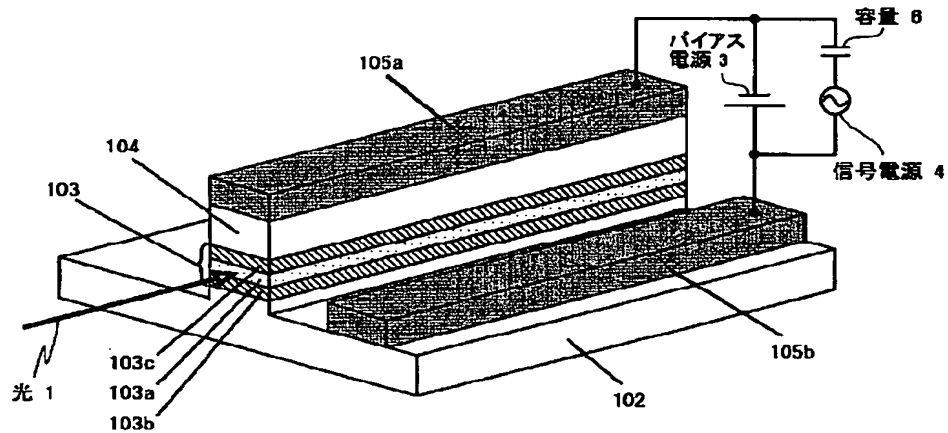
レーザー一体型光位相変調器 120



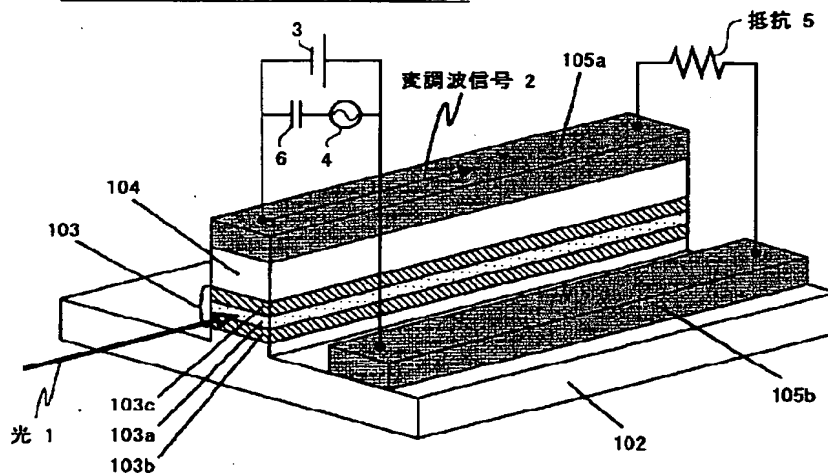
【図 3】

本発明の第 1 の実施例による光位相変調器 100 の具体的構成例を示す俯瞰図であり、(a) は光位相変調器 100 を用いて構成された集中定数型光位相変調器 200 を示し、(b) は光位相変調器 100 を用いて構成された分布定数型（進行波型）光位相変調器 300 を示す図

(a) 集中定数型光位相変調器 200

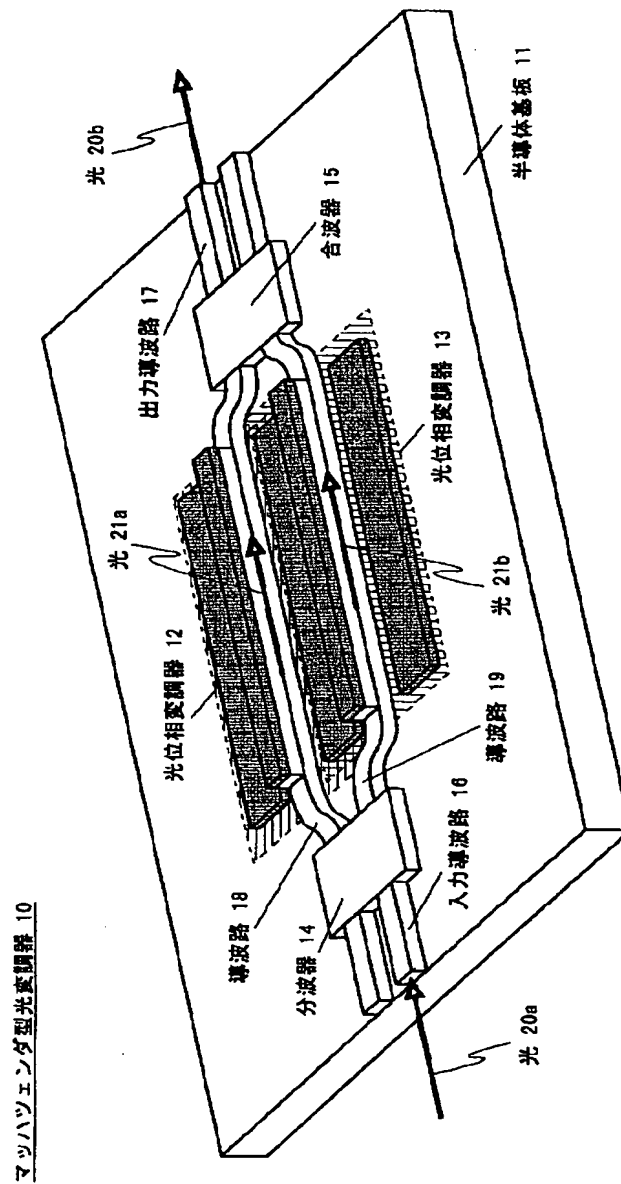


(b) 分布定数型（進行波型）光位相変調器 300



【図4】

本発明の第1の実施例による光位相変調器100を用いて構成されたマッハツェンダ型光変調器10の構成を示す俯瞰図



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☒ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.